

## Análise de Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e Landsat 8

Alcione Moreira do Carmo<sup>1</sup>  
Michael Vandesteem Silva Souto<sup>2</sup>  
Cynthia Romariz Duarte<sup>2</sup>  
Áquila Ferreira Mesquita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Geologia - Universidade Federal do Ceará – UFC  
Campus do Pici, Departamento de Geologia, Bloco 912. Fortaleza/CE. CEP 60455-760  
{alcione.moreira, aq.fmesquita}@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratório de Geoprocessamento - Departamento de Geologia - Universidade Federal do Ceará – UFC - Campus do Pici, Departamento de Geologia, Bloco 912. Fortaleza/CE. CEP 60455-760. {michael.souto, cynthia.duarte}@ufc.br

**Abstract.** Risk analysis is one of the most widely used tools for the prevention of natural disasters in mountainous regions. To do this type of analysis is necessary to understand the surface geomorphology and terrain attributes. However, remote sensing products that allow you to get a knowledge of the geomorphological aspects of the study area. The morphometric variables derived from the Digital Elevation Model (DEM) from the Topodata Project and surface terrain attributes interpreted from the Landsat 8 image were used to calculating, through image mathematics, to obtain an environmental risk for erosion map for the southern Massif Central Portion of Ceará State.

**Palavras-chave:** Risk analysis, morphometric variables, remote sensing

### 1. Introdução

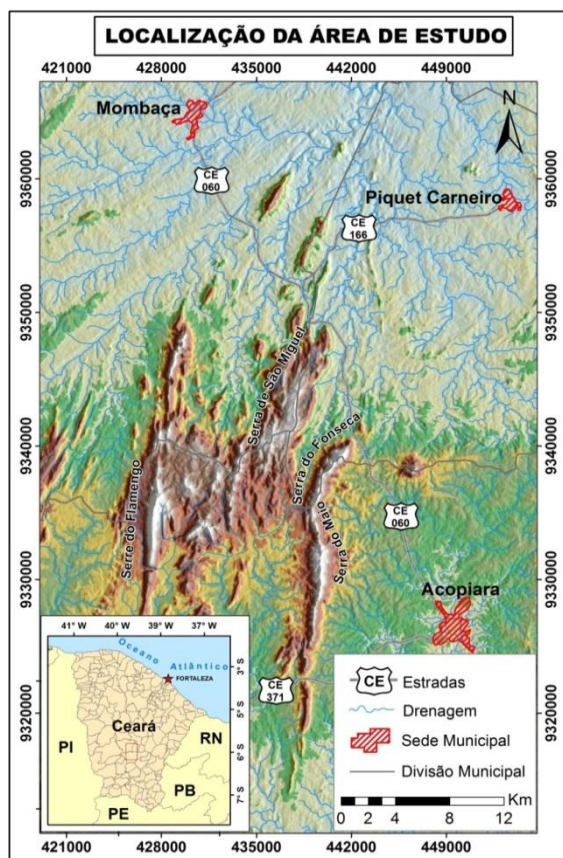


Figura 01. Localização da área de estudos.

O trabalho teve como objetivo realizar uma análise de risco à erosão do terreno na Porção Sul do Maciço Central do Estado do Ceará (Figura 01), utilizando como base as formas do terreno, geradas a partir das variáveis morfométricas (declividade, orientação de vertentes, curvaturas vertical e horizontal) e dos atributos superficiais do terreno (água, solo exposto, vegetação fechada, vegetação aberta e áreas de cultivos) obtidas a partir de imagens de Sensoriamento Remoto.

As variáveis morfométricas são importantes instrumentos de análise geomorfológica, possibilitando o estudo dos processos de evolução e das formas do terreno (OZDEMIR, 2011). A erosão é um dos processos geomorfológicos mais importantes para análise de risco, pois além de ser responsável pelo modelamento do relevo, pode desencadear desastres naturais, como os movimentos de massa, comuns em vertentes com declives acentuados.

O solo é o fator superficial mais importante para análise de risco quanto à erosão

pluvial e fluvial, pois os processos erosivos se concretizam nessa frágil estrutura exposta na superfície. A vegetação é outro fator de grande importância para os processos erosivos, pois a sua ausência ou a diversidade de vegetação pode potencializar um maior ou menor risco à erosão. Então, a cobertura vegetal funciona como uma proteção dos solos à ação de fatores climáticos, tais como as precipitações pluviométricas. Quanto mais densa a vegetação menor será o impacto direto das gotas de chuva contra o solo. Além de que as raízes produzem sustentabilidade do solo e promovem a rápida infiltração das águas escoadas.

A ocorrência de processos erosivos é assunto recorrente na ciência geomorfológica, já tendo sido abordado por diversos autores, que trabalharam com análise de encostas e sua relação com riscos geológico e geotécnico. Os processos erosivos podem ser promovidos por vários agentes, como o vento, a gravidade, o gelo e a água (SUGUIO, 1998). No caso das encostas de montanhas e serras, o agente principal é a água. Para Guerra e Marçal (2006) a Geomorfologia tem um papel fundamental para o estudo da erosão dos solos, nesse sentido os autores ainda concordam com a prerrogativa de que é pouco provável que seja possível diagnosticar com segurança as áreas susceptíveis a processos erosivos, sem o conhecimento mais aprofundado da morfologia do terreno e de seus processos associados.

Os processos erosivos mais comuns nas vertentes de encostas são aqueles associados ao escoamento superficial, como as erosões pluvial e fluvial. Eles são responsáveis pela evolução da vertente. Há uma estreita inter-relação entre a morfologia da vertente e o tipo de escoamento superficial. Para Bigarela *et al.* (2003) os processos erosivos podem ser acelerados pela interferência do homem no manejo dos solos e por mudanças climáticas bruscas, causando grandes destruições.

De acordo com Christofoletti (1980), Bigarela *et al.* (2003) e Ritter *et al.* (2006), o tipo de encosta possui grande influência nos processos erosivos e a análise da relação entre concavidade, convexidade, segmento retilíneo e declividade da vertente define pontos e graus diferentes de susceptibilidade à erosão, bem como os locais prováveis para deposição dos sedimentos.

Segundo Cunha e Guerra (1998), o equilíbrio da encosta depende da quantidade de material intemperizado disponível, da quantidade de chuvas, da presença e do tipo de vegetação, e principalmente, da morfologia do terreno e do grau de declividade das encostas. Qualquer alteração em um desses fatores pode intensificar os processos erosivos e deflagrar os movimentos de massa.

Atualmente as técnicas de Geoprocessamento aliadas aos produtos de Sensoriamento Remoto, oferecem inúmeras possibilidades de análise e estudo dessas áreas com potencial erosivo, utilizando a análise digital do relevo por meio do MDE (SILVEIRA *et al.*, 2014). A evolução e a disponibilidade de imagens ópticas e de radar têm favorecido e facilitado o estudo da susceptibilidade a riscos geológicos, podendo definir assim uma melhor gestão territorial, ou seja, auxiliando o processo de tomada de decisão a respeito da ocupação de espaços e seus usos.

## **2. Metodologia de Trabalho**

Para a confecção da Carta de Avaliação do Risco Ambiental à Erosão do terreno (CARAER) foram utilizados o MDE Topotada (resolução espacial 30 m) para a geração das variáveis morfométricas (declividade, orientação de vertentes, curvaturas vertical e horizontal), e a imagem multiespectral do sensor OLI do satélite Landsat 8 com resolução de espacial 30 m, para fazer a classificação supervisionada das feições superficiais do terreno. Esses dados serviram como variáveis para o cálculo que gerou a carta. Os processamentos desses produtos e a confecção final da CARAER foram realizados nos *softwares* Arcgis e Envi.

As variáveis morfométricas foram geradas a partir do MDE Topodata no *software* Arcgis através da ferramenta *Spatial Analyst*. As informações superficiais ambientais do terreno foram obtidas por meio da Classificação Supervisionada Distância de Mahalanobis feita a partir da imagem Landsat 8, utilizando as bandas de 1 a 7, sendo que as amostras de treinamentos foram escolhidas a partir da imagem em composição R(7)G(5)B(3), toda a etapa de coleta das amostra dos *pixels* e a classificação foram realizadas no *software* Envi. Posteriormente foram realizadas operações de álgebra de mapas utilizando as imagens resultantes da classificação das feições superficiais do terreno e das variáveis morfométricas, onde todas as variáveis de cada imagem receberam pesos e influências para cada uma de suas feições. Então para realização do cálculo dos níveis de risco a erosão foi aplicada operações matemáticas, por meio da álgebra de mapas, como descrito na equação abaixo:

$$\text{CARAER} = (\text{atributos superficiais do terreno} * 0,35) + (\text{declividade} * 0,25) + (\text{curvatura vertical} * 0,20) + (\text{curvatura horizontal} * 0,10) + (\text{orientação de vertente} * 0,10)$$

As ponderações dos pesos e as influências em porcentagem para cada variável foram definidos com base em suas propriedades individuais, em relação à probabilidade de desencadear processos erosivos no terreno. Definiu-se que a ponderação dos pesos seguiria uma variação de 0 a 10, onde zero representa o menor risco e 10 o maior, levando em consideração trabalhos como o de Silva (2007) que utilizou ponderações de pesos semelhantes para as variáveis trabalhadas. Já Batista (2014) trabalhou com variáveis semelhantes, tendo atribuído valores variando entre 0 e 4. Além disso, também foram definidas as influências em porcentagem (%) para cada variável integrada para geração da carta de avaliação de risco, onde o total dessas influências para cada mapa somavam 100%.

### 3. Resultados e Discussão

Na análise da susceptibilidade ao risco ambiental à erosão foi utilizada como principal variável os atributos superficiais do terreno (água, vegetação densa, vegetação aberta, área de cultivos e solo exposto), que caracterizam as unidades de paisagens do terreno susceptíveis as modificações pelas atividades antrópicas, o que permite estabelecer a avaliação ambiental.

Os valores da influência e dos pesos atribuídos (Tabela 01) a essas variáveis, bem como as outras variáveis do terreno, permitiram definir os pontos de maiores e de menores graus de erosão.

A menor influência colocada no cálculo feito foi atribuída a orientação de vertente, nesse caso o sentido para onde as vertentes estão orientadas não possui muita importância, no entanto se o cálculo envolvesse quantidade e direção das precipitações pluviométricas, esta variável teria uma influência maior na operação final.

A morfologia do terreno é o indicador natural mais importante com relação ao risco à erosão, pois ela define os padrões e os tipos de erosão que podem ocorrer no terreno, principalmente em encostas íngremes, onde a erosão pode se dar de forma suave ou catastrófica, com os movimentos de massas mais violentos, a inclinação da vertente é um dos fatores mais importantes para definição do grau de risco à erosão.

Os atributos superficiais podem aumentar ou diminuir a fragilidade do terreno em relação ao risco de erosão. A vegetação fechada, caracterizada pela vegetação de caatinga arbórea-arbustiva, pode minimizar o risco de uma possível erosão mais severa, mesmo em terrenos inclinados, e o contrário ocorre com o solo exposto, que possibilita aumentar consideravelmente o risco de erosão drástica em encostas íngremes ou mesmo em terrenos mais suaves. As áreas de cultivo, assim como a de vegetação aberta (vegetação de caatinga arbustiva-rasteira), podem aumentar o risco à erosão, principalmente em vertentes inclinadas.

Tabela 01. Tabela das influências (%) e dos pesos utilizados na operação de álgebra de mapas para calcular o risco de erosão.

| <b>ATRIBUTOS SUPERFICIAIS DO TERRENO</b> |              |
|--|--------------|
| <b>Influência (35%)</b>                  | <b>Pesos</b> |
| Água                                     | 0            |
| Vegetação Densa                          | 2            |
| Vegetação Aberta                         | 4            |
| Áreas de Cultivo                         | 6            |
| Solo Exposto                             | 10           |
| <b>DECLIVIDADE</b>                       |              |
| <b>Influência (25%)</b>                  | <b>Pesos</b> |
| 0 – 3%                                   | 0            |
| 3 – 8%                                   | 2            |
| 8 – 20%                                  | 4            |
| 20 – 45%                                 | 6            |
| 45 – 75%                                 | 8            |
| + 75%                                    | 10           |
| <b>ORIENTAÇÃO DE VERTENTES</b>           |              |
| <b>Influência (10%)</b>                  | <b>Pesos</b> |
| Noroeste                                 | 1            |
| Oeste/Norte                              | 2            |
| Sudeste                                  | 4            |
| Nordeste                                 | 5            |
| Sudeste                                  | 7            |
| Sul                                      | 8            |
| Leste                                    | 10           |
| <b>CURVATURA VERTICAL</b>                |              |
| <b>Influência (20%)</b>                  | <b>Pesos</b> |
| Convexa                                  | 3            |
| Retilínea                                | 6            |
| Côncava                                  | 9            |
| <b>CURVATURA HORIZONTAL</b>              |              |
| <b>Influência (10%)</b>                  | <b>Pesos</b> |
| Divergente                               | 3            |
| Planar                                   | 6            |
| Convergente                              | 9            |

Nesse caso a ação antrópica é fator preponderante na análise de riscos, pois o ato de cultivar a terra deixa o ambiente mais fragilizado e mais susceptível a esses processos, uma vez que, para desenvolver seus cultivos é necessário retirar a vegetação mais densa para fazer o plantio, e após a colheita esses locais dificilmente voltam a ter a mesma vegetação de antes, dando lugar assim aos solos expostos e a vegetação mais aberta. Levando-se em consideração esse equilíbrio tênue podemos constatar que a variável dos atributos superficiais pode, assim como a morfologia do terreno, ser considerada como importante quando se analisa o grau e a probabilidade de ocorrência de erosão mais acentuada ou não no terreno.

Como resultado do cálculo de álgebra de mapas foi obtido um novo mapa, em formato *raster*, com cinco classes diferentes que representassem os cinco níveis de risco à erosão do terreno. As cinco classes foram definidas estatisticamente por meio da quebra natural (Tabela 02), que normaliza os intervalos de modo a minimizar a variância dentro das classes, ou seja, as classes terão probabilidades estimadas de forma semelhante.

Tabela 02. Tabela dos valores estabelecidos para definir o intervalo classes dos níveis de riscos para as figuras 02.

| VALORES ESTABELECIDOS PARA AS CLASSES DOS NÍVEIS DE RISCOS |             |
|--|-------------|
| Nível de Risco   | Valores     |
| Muito Baixo  | 0 – 3,97    |
| Baixo  | 3,98 – 4,72 |
| Médio  | 4,73 – 5,27 |
| Alto   | 5,28 – 6,31 |
| Muito Alto   | 6,32 – 10   |

Os resultados obtidos por operações foram apresentados sob a forma de mapas com graus de riscos divididos em cinco classes, variando entre muito baixo e muito alto. Para o cálculo do mapa considerou-se nesse caso que os atributos superficiais teriam mais influência que a declividade e que as outras variáveis morfométricas.

Para melhor avaliar os riscos à erosão do terreno foram criados cinco perfis topográficos que pudessem contribuir nas análises feitas (Figura 02). A escolha dos perfis foi feita com base nos que apresentaram melhor representatividade para todas variáveis morfométricas vistas em campo e que pudessem cobrir toda área estudada.

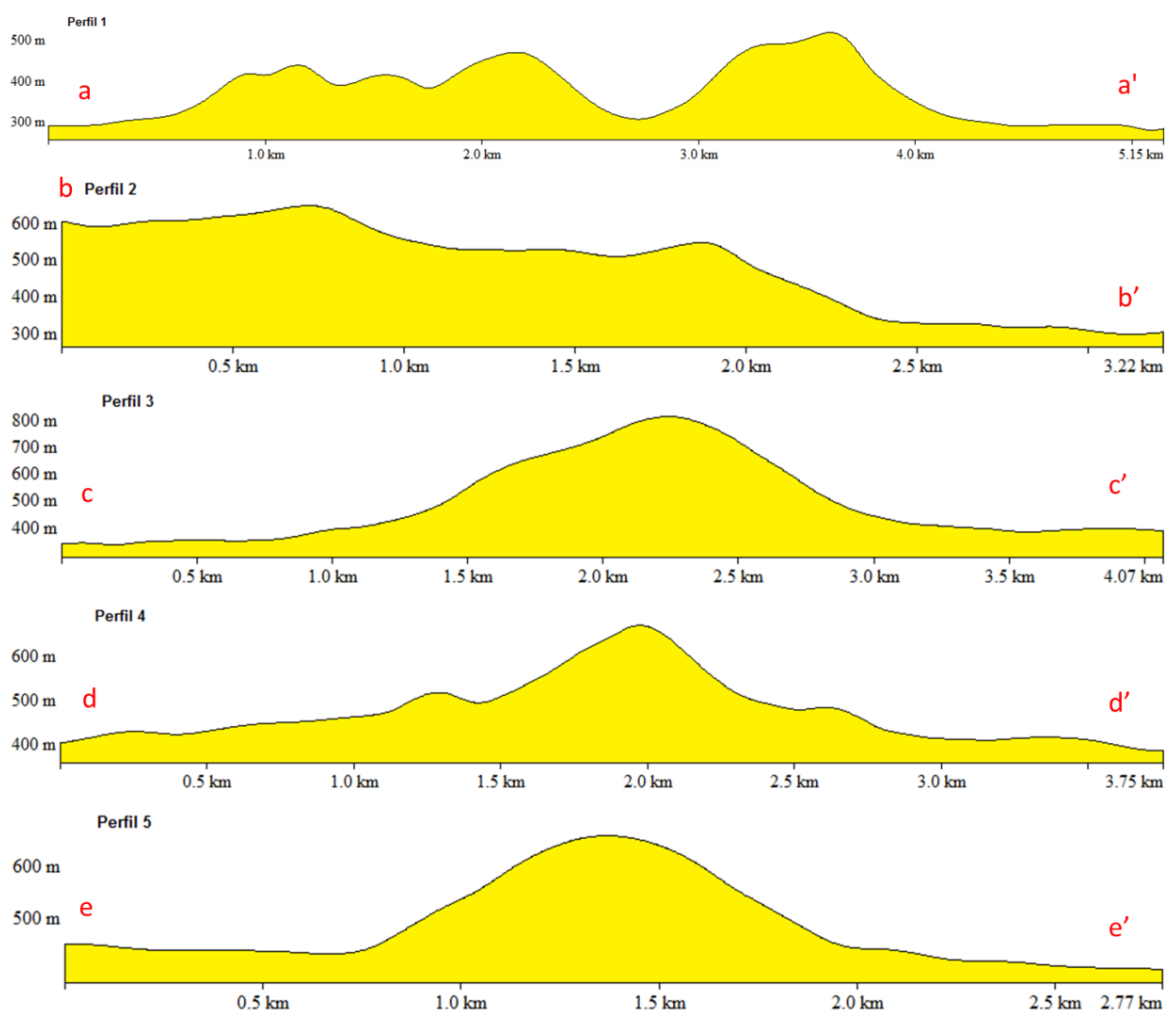


Figura 02. Perfis representativos das encostas das serras do Papagaio, São Miguel, do Fonseca, Maia e Flamengo, respectivamente.

Os resultados apresentados no mapa da Figura 03 mostraram que na maior parte das encostas ocorre um risco de erosão alto a muito alto, principalmente onde se verificou pouca presença da vegetação aberta, área de cultivos ou solo exposto.

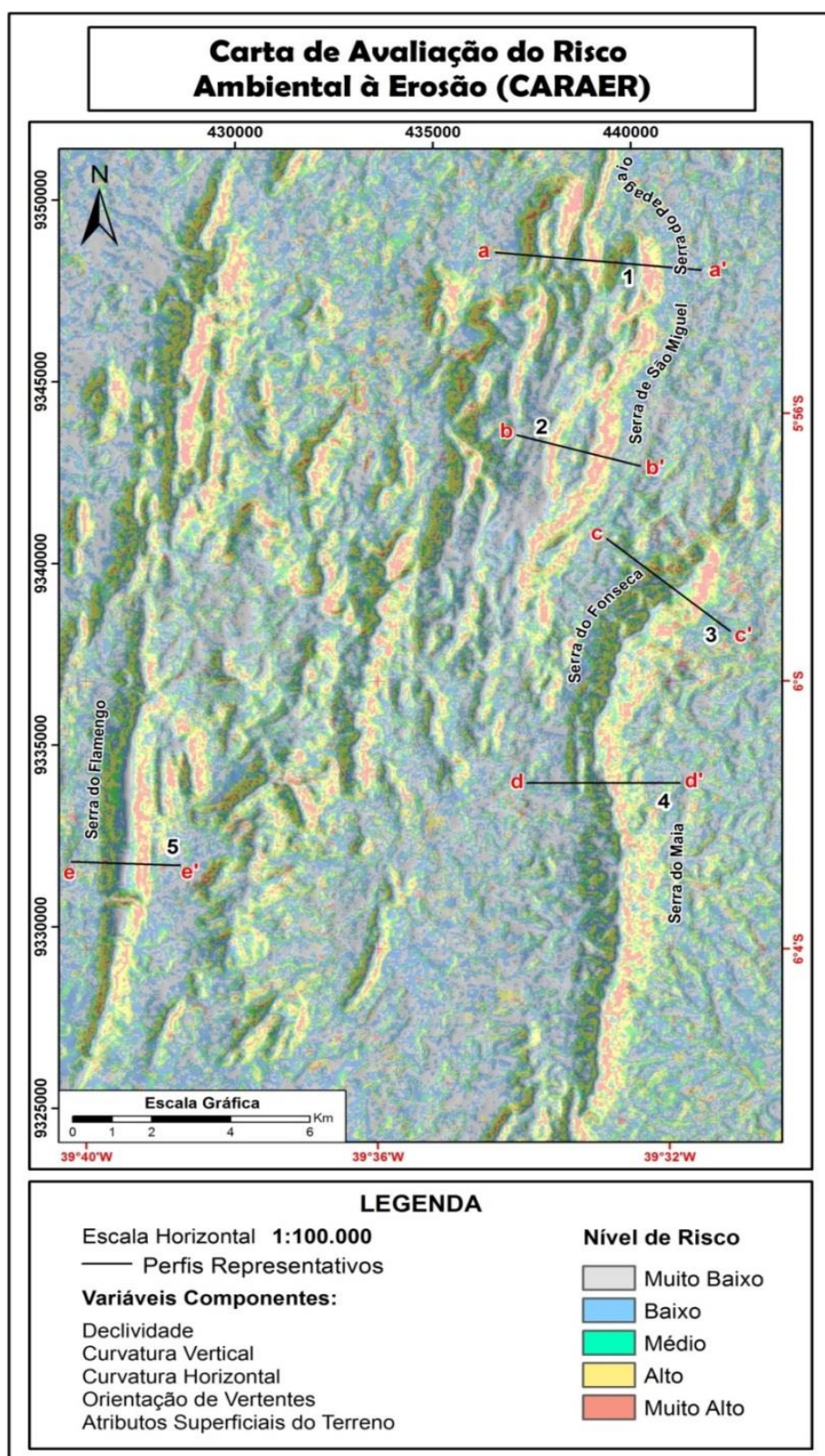


Figura 03. Mapa de avaliação de risco à erosão baseado na morfologia do terreno dada pelas variáveis morfológicas, nos atributos superficiais do terreno.

Os riscos considerados muito alto e alto estão localizados principalmente nas vertentes Leste das Serras do Papagaio (Perfil 1a-a', Figura 02), São Miguel (Perfil 2 b-b', Figura 02), Fonseca (Perfil 3 c-c', Figura 02), Maia (Perfil 4 d-d', Figura 02) e Flamengo (Perfil 5 e-e', Figura 02).

Nas vertentes Oeste dessas serras os graus de risco considerados alto e muito alto ficaram restritos a locais pontuais onde as declividades são maiores, e nessas vertentes verificou-se ainda que a vegetação é mais densa formando assim uma proteção natural a erosão em grande parte dessas encostas. Verificou-se também que nas áreas de relevos suaves também ocorreram pontos de grau de risco elevados (alto, muito alto), sendo que esses pontos coincidem com as regiões de vegetação aberta, com as áreas de cultivos e principalmente com as manchas de solos expostos (Figura 03). Em grande parte dos topos das serras e na depressão periférica os riscos de erosão variaram de muito baixo a moderado, no entanto há pontos de risco alto e muito alto. Essas áreas com riscos considerados baixos estão recobertas por vegetação densa, o que diminui bastante o risco à erosão, ou por espelhos d'água, que por sua vez praticamente anulam a possibilidade de haver erosão nesses locais.

#### **4. Conclusões**

A Carta de Avaliação do Risco Ambiental à Erosão do terreno (CARAER) obtida para a Porção Sul do Maciço Central do Ceará, construída a partir das variáveis morfométricas declividade, orientação de vertente, curvaturas vertical e horizontal e dos atributos superficiais do terreno, mostrou que a maior quantidade de área com níveis de risco mais alto está localizada nas encostas Leste das serras; no entanto esses riscos mais elevados também podem estar localizados em alguns pontos das vertentes Oeste dessas mesmas serras, onde as declividades são mais acentuadas, e nas áreas de relevo suave, principalmente onde existe a predominância de solo exposto e áreas de cultivo.

Esse tipo de carta de avaliação de risco à erosão pode ser um importante instrumento para a prevenção de desastres naturais, tais como os movimentos de massa. Com o avanço das geotecnologias e da disponibilização de dados derivados de sensores remotos a baixo custo, a possibilidade de elaborar esse tipo estudo e análise está cada vez mais acessível a pesquisadores e gestores, propiciando uma ferramenta de suporte a tomada de decisão na prevenção de possíveis catástrofes naturais.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao GEOCE – Laboratório de Geoprocessamento do Ceará do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará e à CAPES pelo financiamento da pesquisa.

#### **Referências Bibliográficas**

BATISTA, C. T. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento geotécnico em escala regional – o caso da serra de Baturité, CE.** 2014. 218 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Contribuição: PASSOS, E.; HERRMANN, M. L. de P.; SANTOS, G. F. dos, MENDONÇA, M.; SALAMUNI, E.; SUGUIO, K. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: 2ª ed. Edgard Blucher, 1980.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

OZDEMIR, A. GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison. **Journal of Hydrology**, v. 411, p. 290-308, 2011.

RITTER, D. F.; KOCHER, R. C.; MILLER, J. R. **Process Geomorphology**. Reissued: 4<sup>a</sup> ed. Waveland Press, 2006.

SILVA, L. P. **Modelagem e Geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá**. 2007. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; SCHILIPACK, P.; DIAS, S. M. Mapeamento preliminar da suscetibilidade natural a movimentos de massa da serra do mar paranaense apoiado na análise digital do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, p. 03-22, 2014.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.